

Mikrokontroléry a embedded systémy

Architektury a jádro ARM Cortex-M, zásady návrhu firmware

Ing. Aleš POVALAČ, Ph.D.

povalac@vut.cz

Ústav radioelektroniky
Vysoké učení technické v Brně, FEKT

Školení pro SPŠ Třebíč

březen 2023

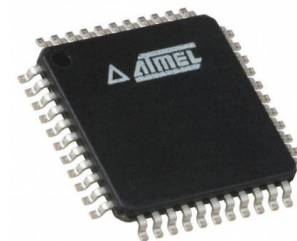
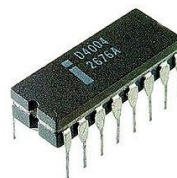
- Architektury MCU
 - jádra Intel MCS51, Atmel AVR, ARM Cortex
- Mikrokontroléry STM32
 - rodiny STM32, vývojové kity, využití ve výuce
 - implementace Cortex-M0 jádra na STM32F0
- Hands-on
 - základy práce v STM32CubeIDE, HAL a LL
 - vývojové desky NUCLEO-F030R8, NUCLEO-F429ZI
- Zásady návrhu embedded systémů
 - postup návrhu a dělení programu, ladění, standard firmwaru
 - kooperativní a preemptivní RTOS

- **mikroprocesor**

- vykonává sled aritmetických a logických instrukcí podle programu
- pouze „jádro“, tj. řídicí jednotka

- **mikrokontrolér**

- též „jednočipový mikropočítač“
- integruje v jednom obvodu **mikroprocesor** a **periferie**
- dočasná (RAM) a stálá (FLASH, EPROM, ROM) paměť
- vstupně/výstupní obvody
- časovače, AD převodník, UART, USB, EEPROM apod.



Architektury MCU

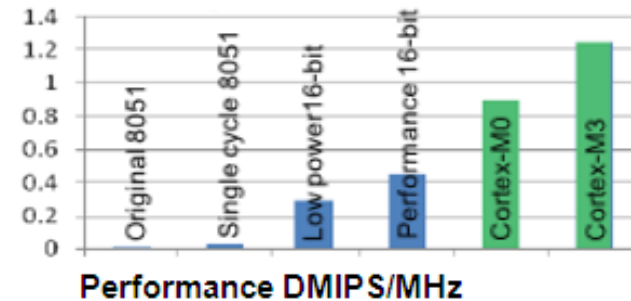
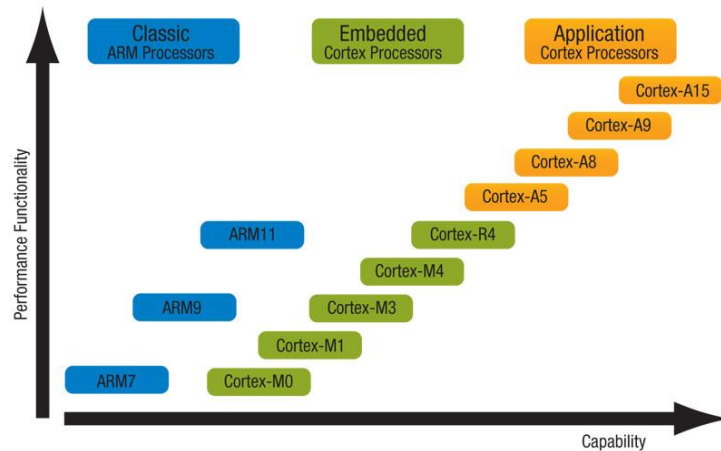
- Harvardská architektura, CISC; základem „jádro 8051“
 - rok 1980, původně NMOS technologie
 - 128B RAM, 4kB ROM, 4x 8b I/O, UART, 2 časovače
- řada odvozených MCU: FLASH paměť, více periférií
- u nás nejznámější Atmel AT89C51, AT89C2051, AT89S52
- programování typicky **v assembleru**, občas C (IAR, Keil)
- stále jedno z nejpoužívanějších jader (ASIC)



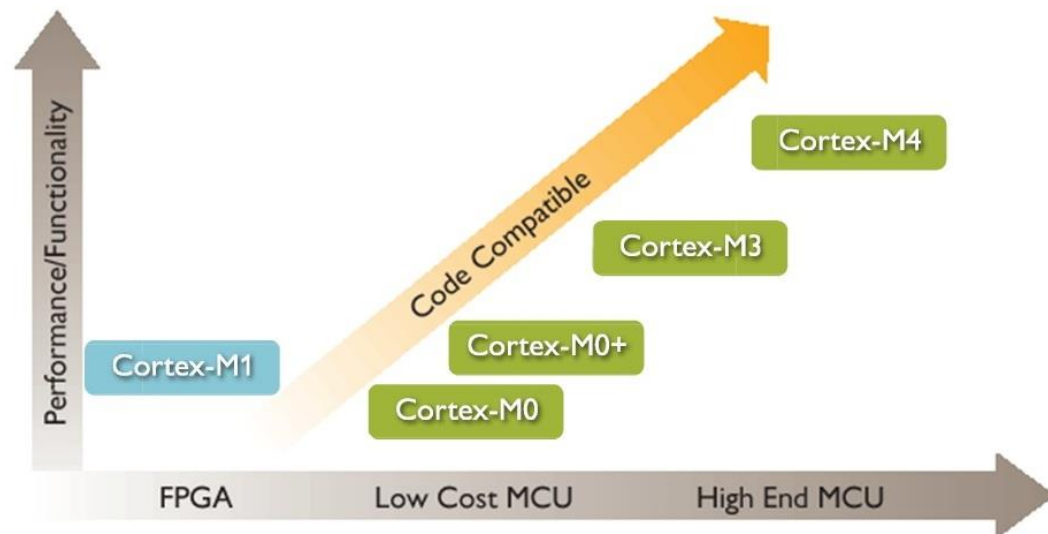
- modifikovaná Harvardská architektura, RISC, rok 1996
- navrženo norskými studenty, dostupná **FLASH paměť**
- tinyAVR: 0,5-16kB FLASH, 6-32 pinů
- megaAVR: 4-512kB FLASH, 28-100 pinů
- ISP programování, JTAG ladění
- časovače, A/D převodník, USART, BOD, WDT, USB, ...
- podpora GCC → **většina firmwaru v C**
- flame war: Atmel AVR vs. Microchip PIC
- základ platformy Arduino (AVR, knihovny, C++)



- firma ARM nevyrábí MCU, pouze licencuje jádra
- nejrozšířenější 32bit architektura
 - A-profil: application Cortex-A
 - M-profil: microcontroller Cortex-M
- kvalitní překladače GCC i komerční, **pouze C/C++**
- mnoho výrobců, současnost a blízká budoucnost MCU

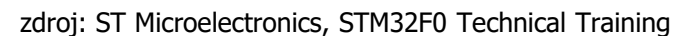


- nahrazuje klasické dělení MCU na 8/16/32bit
- řady optimalizované pro nízký příkon, jednoduché použití, kompatibilitu
- nejpoužívanější u nás
 - STM32 (F0, F1, F4, F7, H7, L...)
 - TI TM4C/MSP432
 - NXP LPC
 - Nordic nRF5

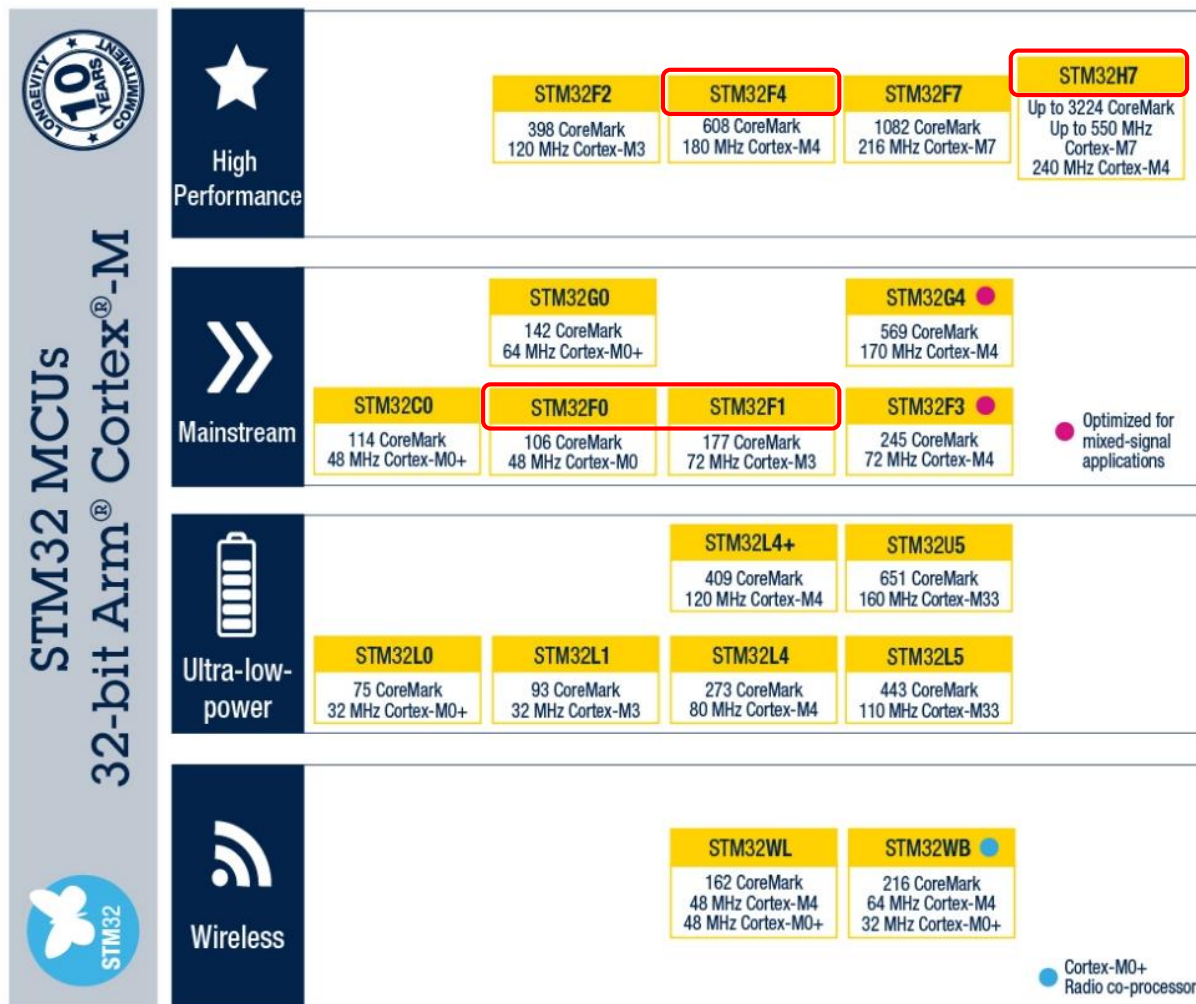


| Cortex-M0 | Cortex-M3 | Cortex-M4 |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| "8/16-bit" applications | "16/32-bit" applications | "32-bit/DSP" applications |

T FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

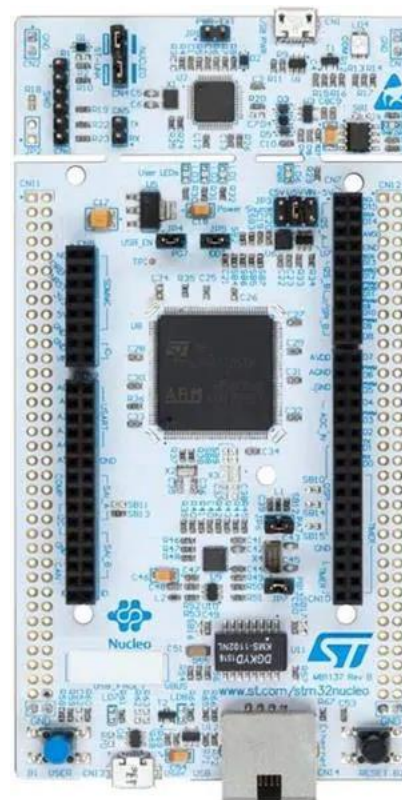
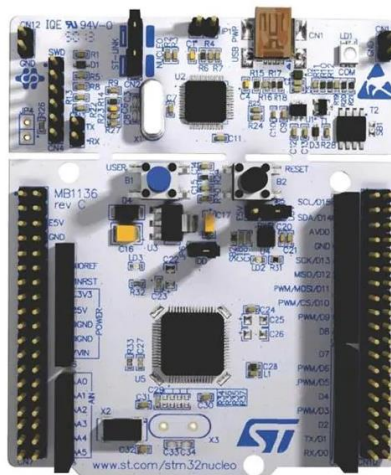


Mikrokontroléry STM32



Vývojové desky STM32

- Nucleo-32, -64, -144; Discovery kity
- cenově 300Kč-1000Kč
- integrovaný ST-Link debugger
 - Serial Wire interface (SWD) – dva piny!
 - HW breakpoint 4x (+ SW BKPT)
 - Data watchpoint 2x





STM32F030R8

Datasheet

 DS9773 Value-line Arm-based 32-bit MCU with up to 256 KB ADC, communication interfaces, 2.4-3.6 V operation (version 4)

Reference manual


 RM0360 STM32F030x4/x6/x8/xC and STM32F070x6/xB advanced ARM-based 32-bit MCUs (version 4)

Programming manual


 PM0215 STM32F0xxx Cortex-M0 programming manual (version 10)

STM32F429Z1


Datasheet

 DS9405 32b Arm Cortex-M4 MCU+FPU, 225DMIPS, up to 2MB Flash/256+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 20 com. interfaces, camera & LCD-TFT (version 10)

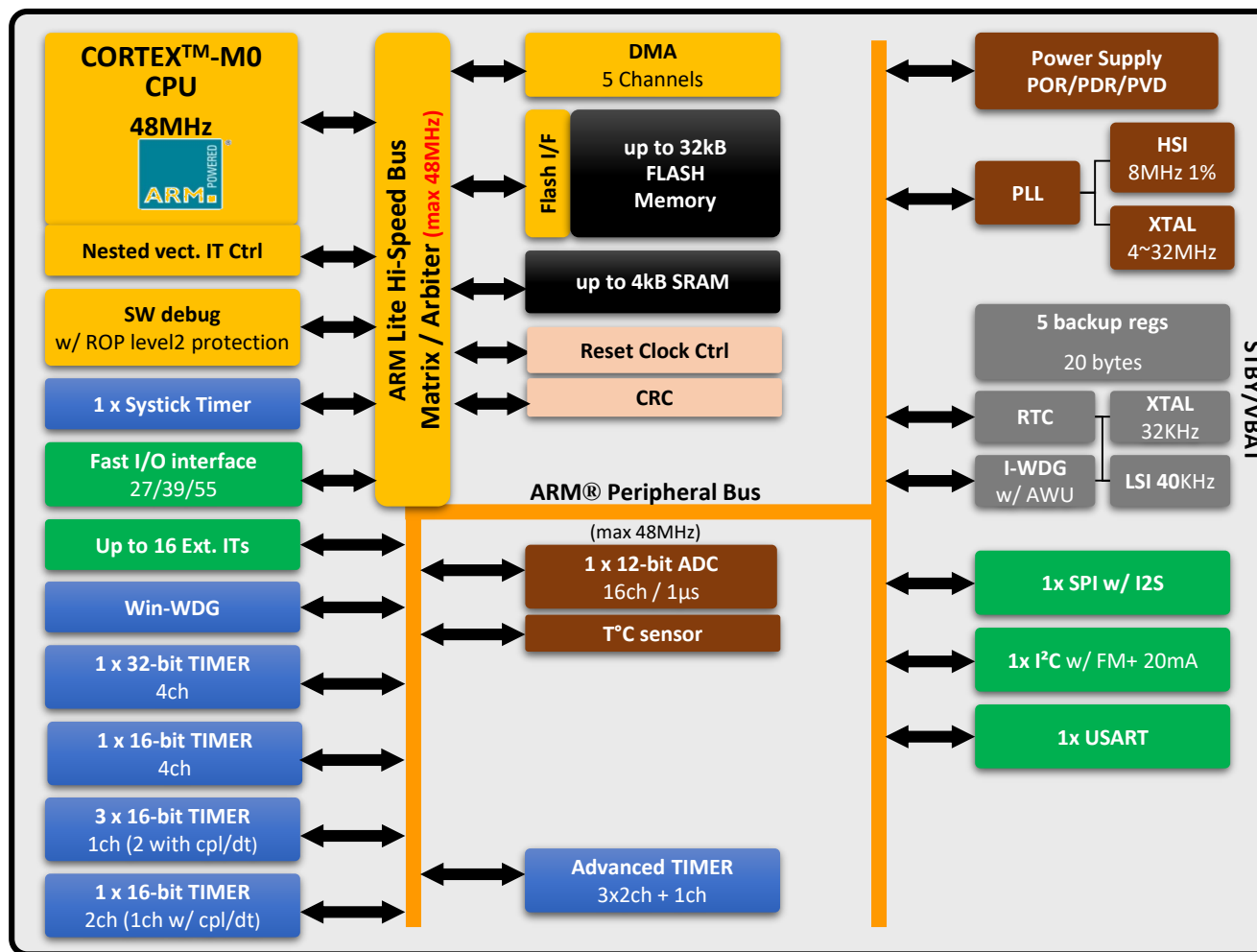
Reference manual

 RM0090 STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm-based 32-bit MCUs (version 18)

Programming manual

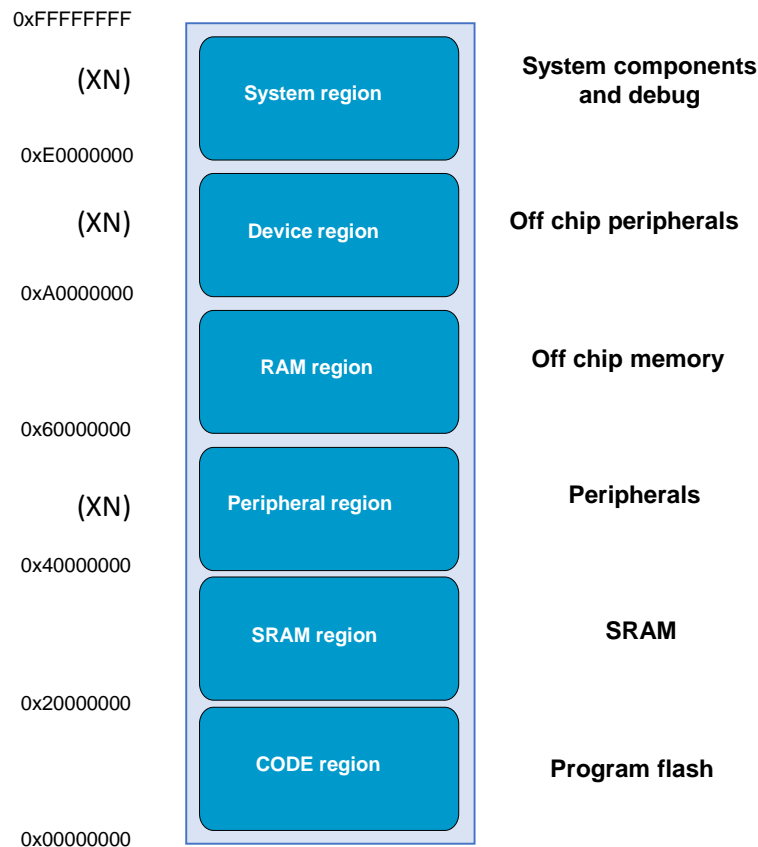
 PM0214 STM32 Cortex-M4 MCUs and MPUs programming manual (version 10)

Blokové schéma STM32F050

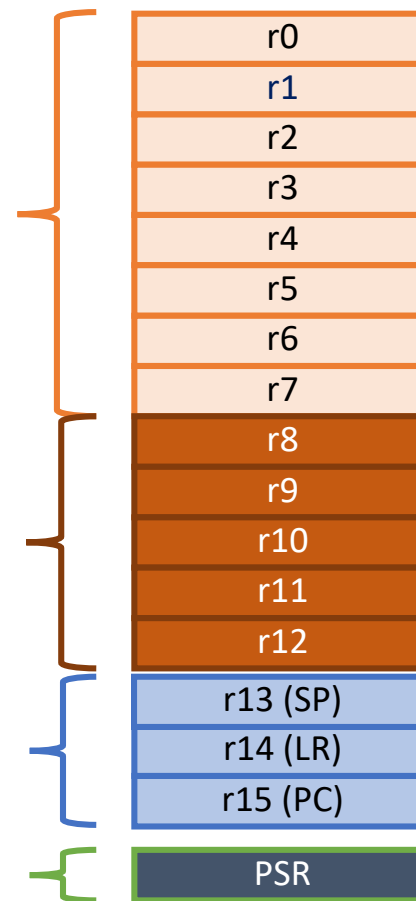


Paměťová mapa

- **4GB** lineární paměťový prostor
- bez stránkování a bank
- všechny pozice vždy dostupné pro software
- **podpora 8/16/32-bitových dat**
- standard pro všechny implementace Cortex-M

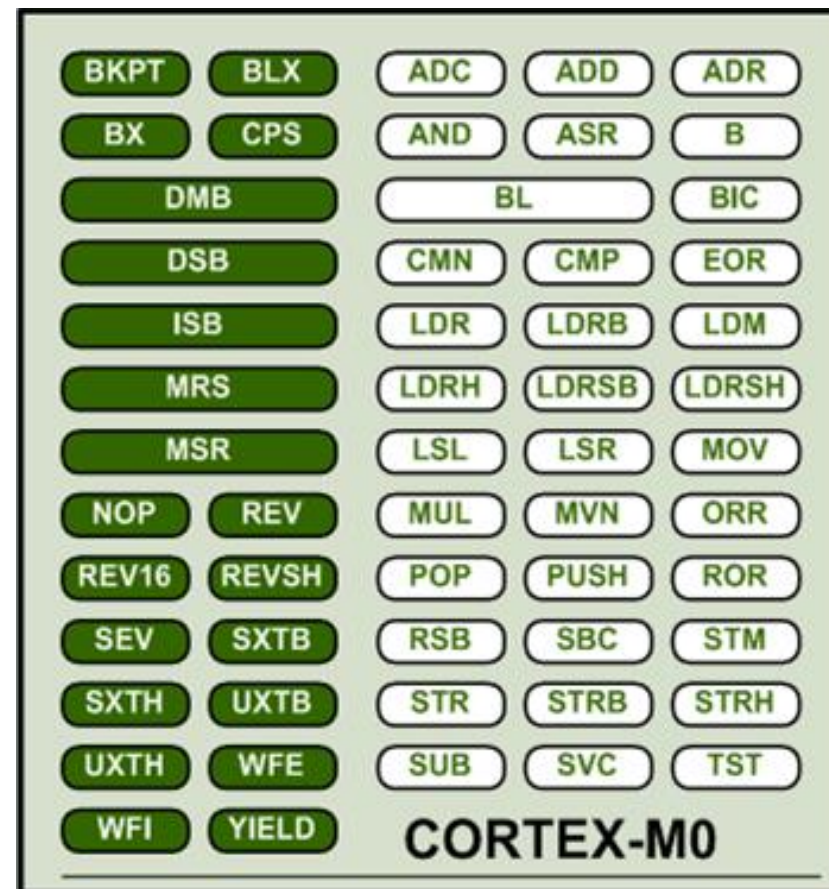


- všechny registry šířky 32 bitů
 - existují instrukce pro efektivní podporu pakovaných 8/16/32-bitových dat v paměti
- 13 registrů pro všeobecné použití
 - registry r0-r7 (low registers)
 - registry r8-r12 (high registers)
- pouze 3 speciální registry (MRS, MSR)
 - Stack Pointer (SP) – r13
 - Link Register (LR) – r14
 - Program Counter (PC) – r15
- Program Status Register
 - Application / Interrupt / Execution



- **obsluha přerušení** mikrokódována
 - bez režie dalších instrukcí
 - stav procesoru {PC, xPSR, R0-R3, R12, LR} automaticky ukládán na zásobník
 - v případě potřeby úschovy dalších registrů PUSH/POP
- **HardFault** výjimka
 - může být přerušena pouze NMI a resetem
 - na Cortex-M0 jediná (eskalovaná – neexistuje BusFault, MemManage, UsageFault)
 - provedení nedefinované instrukce nebo instrukce ARM v režimu Thumb
 - načítání/ukládání z/do nezarovnané adresy
 - chyba sběrnice při načítání/ukládání
 - provedení instrukce BKPT bez připojeného debuggeru

- pouze 56 instrukcí
 - 46 generovaných C kompilátorem
 - 10 pro systém a speciální použití
- převážně **kódovány v 16 bitech**
- pracují s **8/16/32-bitovými registry**
- rychlé 1-cyklové násobení (MUL)
 - volitelné, ale dostupné na STM32F0
 - bez HW děličky



- tabulka vektorů začíná na **0x00000000**
- obsahuje adresy obsluh výjimek a ISR
 - jedná se o **vektory**, ne instrukce
- velikost tabulky (ve slovech) =
= počet IRQ + 16
- počáteční hodnota **ukazatele zásobníku** na pozici 0
 - SP inicializován hardwarem při resetu

| Address | Vector |
|------------------|------------------------|
| 0x00 | Initial Main SP |
| 0x04 | Reset |
| 0x08 | NMI |
| 0x0C | Hard Fault |
| 0x10-0x28 | Reserved |
| 0x2C | SVCall |
| 0x30-0x34 | Reserved |
| 0x38 | PendSV |
| 0x3C | Systick |
| 40 | IRQ0 |
| ... | More IRQs |